

XVII ERIAC
DECIMOSÉPTIMO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

21 al 25 de mayo de 2017



Comité de Estudio A1 – MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

REPARACIÓN DE ANILLO DE DESCARGA DE LAS UNIDADES HIDROGENERADORAS KAPLAN DE LA CHY.

ALFREDO DANIEL ARCE G. *
Entidad Binacional Yacyreta
Paraguay

GABRIEL WALANTUS
Entidad Binacional Yacyreta
Argentina

JUAN LOPEZ
Entidad Binacional Yacyreta
Paraguay

ALBERTO LEGUIZAMON
Entidad Binacional Yacyreta
Paraguay

RICARDO ABRAHAM
Entidad Binacional Yacyreta
Argentina

Resumen *– En la primera década del año 2.000 empezaron a aparecer efectos de cavitación-corrosión en la interfaz A°C° - A° Inoxidable del AD de las Unidades Hidrogeneradoras Kaplan del parque generador de la Central Hidroeléctrica Yacyreta.*

Se detectaron en algunos casos pequeñas fisuras que se iban reparando de acuerdo a como se encontraban durante las inspecciones de Paradas de Mantenimiento, en general coincidían que se iniciaban en la soldadura de la interfaz A°C° – A° Inox.

En el año 2.010 se escucharon ruidos fuertes en el pozo de turbina de la U20 y al parar para inspeccionar, con el desagote de la Unidad se encontró un faltante de chapa del AD zona Inoxidable de aprox. 1 m², lo que alertó a la posibilidad de existir otro fenómeno asociado al problema.

Luego de estudios se optó por intentar una rehabilitación temporaria de modo a lograr seguir generando hasta implementar una solución definitiva al problema.

En este trabajo mostraremos las etapas de estudios y solución dados al problema que resultó en el cambio del AD, trabajo que a la fecha ya se efectuó en algunas Unidades y se pretende realizar en las 20, de modo a lograr que la CHY no quede limitada en la capacidad de generación y se pueda generar a capacidad nominal.

Palabras clave: CHY (Central Hidroeléctrica Yacyreta); Kaplan; Rodete de turbina; Anillo de Descarga; Cavitación; Corrosión.

1. Introducción

1.1 1.1 Breve Descripción de las máquinas Kaplan de la CHY

La Central Hidroeléctrica Yacyreta posee 20 unidades hidrogeneradoras con turbinas hidráulicas del tipo Kaplan, los generadores son del tipo eje vertical totalmente cerrado, enfriado por aire mediante intercambiadores de calor aire - agua. La energía generada se transmite a los transformadores por medio de barras blindadas de fases aisladas con las sgtes.

alfredo.arec@eby.gov.py

CARACTERÍSTICAS ELECTROMECÁNICAS

KAPLAN de eje vertical acoplada directamente al generador	
CAUDAL Unidad – Mínimo	376 m3/s
CAUDAL Unidad – Máximo	830 m3/s
SALTO NETO NOMINAL	21,3 m
CAUDAL p/ Salto Nominal	794 m3/s
POTENCIA NOMINAL	154 MW
POTENCIA MÁXIMA	160 MW
VELOCIDAD ROTACIÓN	71,4 rpm
DIAMETRO RODETE	9,5 m
PESO RODETE	278 Tn
CANTIDAD DE ALABES	5
CANTIDAD DE PALETAS DEL DISTRIBUIDOR	24

GENERADORES	
POTENCIA MÁXIMA	172,5 MVA
FRECUENCIA	50 Hz
TENSIÓN NOMINAL	13,2 Kv
DIAMETRO ROTOR	16,0 m
PESO ROTOR	600 Tn

Tabla 1. Características electromecánicas de turbinas y generadores de Yacyreta

1.2 Anillo de descarga (AD)

El anillo de descarga está construido según plano VOITH y está compuesto básicamente por tres chapas siendo la superior e intermedia de acero inoxidable (A°I°) ASTM A240 Type 304 y la inferior de acero carbono (A°C°) ASTM A-516 grado 60 soldadas entre sí.
En la parte superior se une por soldadura estructural con el anillo inferior del distribuidor que es de acero carbono ASTM A-516 grado 60 y en la parte inferior está unida al revestimiento del Tubo de Aspiración (TA) que es de material acero carbono ASTM A36 unidos de manera solapada con una soldadura de sellado.

Tiene una estructura de refuerzos verticales y horizontales que van empotrados en el hormigonado (H°A°) de segunda etapa. Por lo cual no hay espacio entre AD y H°A°. El diseño de este AD no prevé una galería de inspección como existe en otras Centrales Hidroeléctricas.

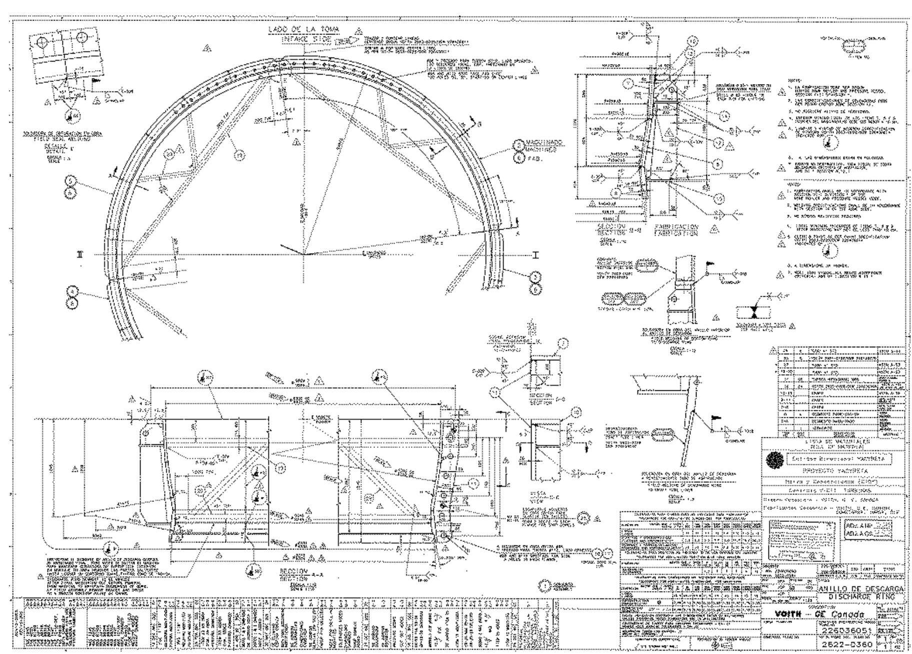


Fig. 1 Plano original del anillo de descarga

2. ANTECEDENTES

Todavía durante el periodo de garantía del fabricante de las Unidades Hidrogeneradoras empezaron a aparecer efectos de cavitación erosiva en la interfaz AD y TA de algunas Unidades.

Mantenimiento EBY empezó a tratar de corregir o reparar tales hechos con reparaciones por soldadura, pero, por indicaciones del responsable técnico del fabricante se paró con tales reparaciones. El argumento fue que con la soldadura se podría afectar a la geometría del AD (deformar) y esto podría afectar directamente al rendimiento y la eficiencia de las máquinas.

Con el pasar de los años este efecto fue creciendo y con el recrecimiento del embalse fue intensificando ese comportamiento. (Yacyreta empezó a operar con el embalse a cota reducida C76 del año 1.994 al 2.006 y tuvo dos escalones intermedios C78, 2.006 al 2.009 y C80 2.009 al 2.011 hasta llegar a cota definitiva C83 en 02/2011).

2.1 **Erosión por cavitación**

El AD zona A°C° y la interfaz con el TA también de A°C° sufrió un ataque erosivo por una combinación de cavitación-corrosión. La corrosión se dio aparentemente por efecto galvánico tanto de las interfaces A°C°- A°C° como A°C°-A°I°. La forma que presentaba este fenómeno es la de "lóbulos" centrados o alineados con la línea de centro de las paletas del distribuidor, es decir 24 semicírculos bien marcados por la oxidación y cavitación de la chapa.

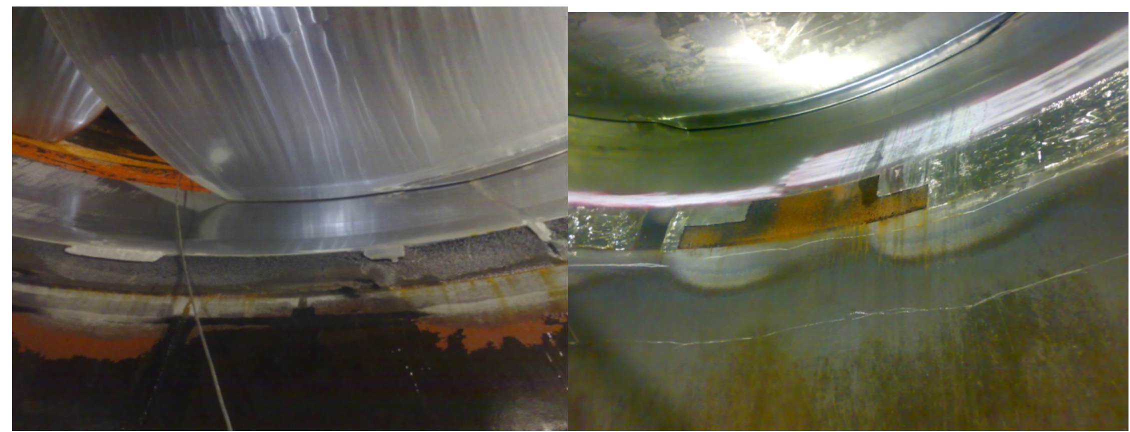


Fig. 2 U03 año 2008

Este efecto fue tan profundo en el A°C° que llegó a consumir en pequeñas partes todo el espesor de la chapa permitiendo que el agua pase al lado del hormigón.



Fig. 3 U01 año 2010

2.1 Aparición de fisuras

Cronológicamente la sgte. falla fue la aparición de fisuras en la parte inferior del AD zona A°I°. Empezaron en agosto del 2008. En todos los casos se originó en la soldadura y tuvo una trayectoria ascendente no necesariamente vertical y siempre que se detectó en paradas de mantenimiento rutinarias o de inspección se procedió a la reparación por soldadura. Utilizando EPS aprobados por el fabricante. Con este efecto se llegó a la falla de mayor impacto que fue le rotura y desprendimiento de una superficie de aprox. 1 m^2 en la U20 en el año 2.010, también tuvimos desprendimientos de chapa, pero de dimensiones pequeñas en las U16 y U14.



Fig. 4. Fisuras en U18 y rotura de U20 año 2010

2.1 Estudios Realizados y acciones tomadas

2.1.1 Estudios

Con apoyo de las Universidades en Convenio, se fueron estudiando los fenómenos que apuntaban a que con el pasar del agua al otro lado de la chapa se producía en primer término la degradación del hormigón que llevaba a que la chapa del AD y el hormigón de respaldo se despegaran produciendo un hueco entre ambos.

El esfuerzo generado por el paso de los álabes y la presencia del agua detrás de la chapa generaba una situación cíclica de compresión y expansión del AD que originaba las fisura por fatiga del material y después contribuía a que la misma progrese.

Se hicieron mediciones de espesor de las chapas del AD de la 20 Unidades donde se constató que estos en muchos casos en zonas puntuales tenían espesores inferiores a las especificaciones técnicas.

2.1.2 Acciones

Inicialmente lo que se hizo fue intentar reparar las zonas cavitadas por procesos de soldadura, con electrodos de A°I° ya que se observó que los cordones de soldadura con electrodos a base de A°C° se degradaban hasta desaparecer rápidamente. Lo que llevó a la situación del aumento del efecto erosivo por efecto del par galvánico.

Luego en una sgte. etapa se utilizó masillas de base epoxy-cerámicas que son mecanizables y específicas para superficies que sufren cavitación, en este proceso se tuvieron buen resultado ya que la cavitación en las zonas masilladas era bastante bajo, pero no detenía el efecto corrosivo. Se encontraron situaciones que la masilla estaba pero por debajo de la masilla la chapa había sido carcomida.



Fig 5. U05 año 2010

En otra etapa se intentó una solución colocando anclajes al AD (sugerido por el fabricante). Se perforaban las chapas y el hormigón donde se colocaban unos anclajes de acero y se soldaban estos a la chapa.

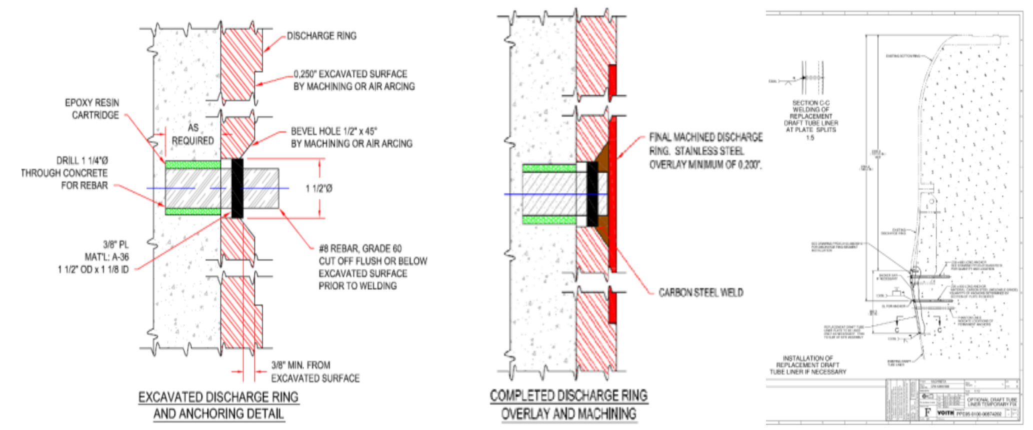


Fig. 6. Esquema utilizado para la colocación de anclajes [1] y [2]

En un sgte. intento se colocó un “anillo de refuerzo” (rigidizador sugerido por las Universidades y modificado por el fabricante) en la parte inferior del AD con la intención de aumentar la masa del AD en la zona afectada por los esfuerzos generados por la vibración generada por la presencia de agua detrás de la chapa.

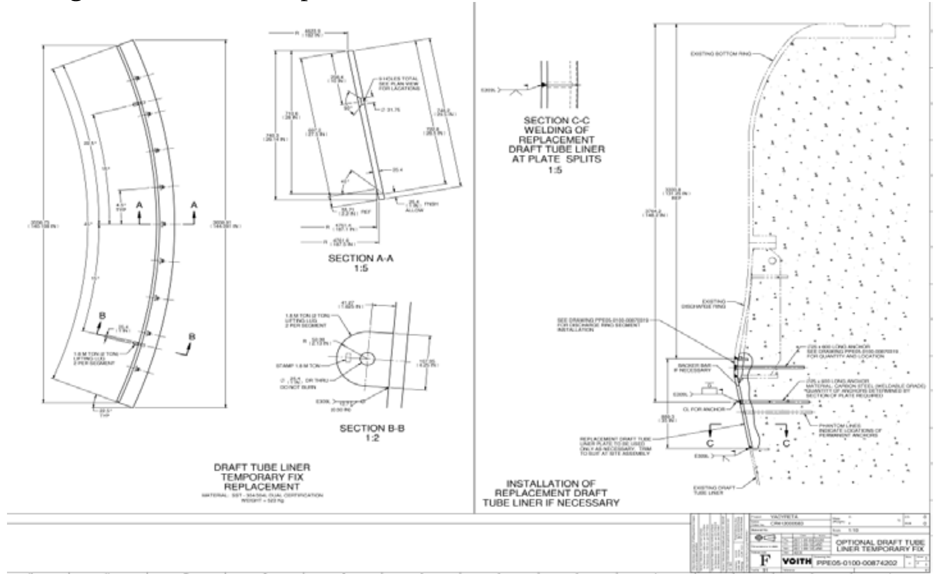


Fig. 7. Detalles de anillo de refuerzo

Estos intentos no tuvieron buenos resultados ya que en periodos cortos de operación los AD así reparados (la U14 por ejemplo) volvieron a romperse y de manera aún peor.

Del conjunto de mediciones que se llevaron a cabo durante esta etapa (aceleración, vibraciones, diferencial de presión, sonido) se notó que al llegar a determinada potencia el esfuerzo al que era sometido el AD disparaba de manera importante, por lo que se tomó la decisión de limitar la potencia de generación en un valor max. que varía para cada una de las Unidades . Entre 127 y 135MW.

2.2 Reparación Definitiva

En este estadio se procede a solicitar al fabricante de las máquinas una solución que sea viable sin desarmar toda la máquina es decir in situ.

Se recibe una propuesta que es la de fabricar un nuevo AD por partes que podría ser introducido por la escotilla de acceso al TA en la C43.

La modificación en el diseño engloba un aumento en el espesor de la chapa y la prolongación del AD zona A°I° hasta cubrir una franja del TA que es donde se observan los efectos de la cavitación.

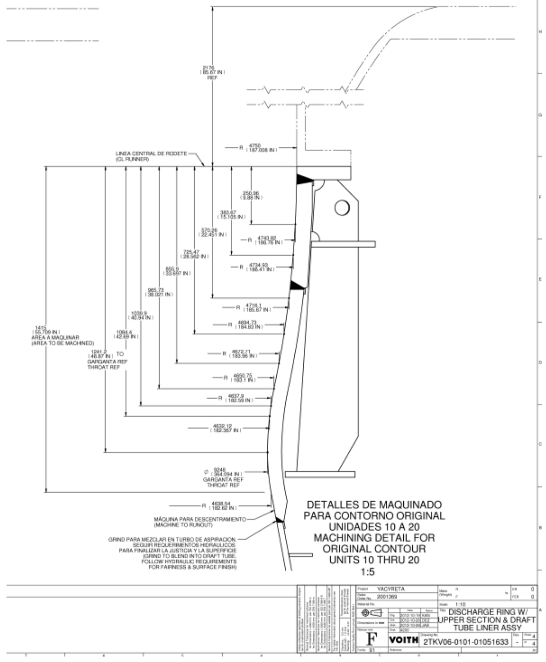


Fig. 8. Anillo de descarga nuevo [3]

Las dos primeras unidades reciben los AD fabricados en 24 partes que son introducidas y montadas in situ luego del desmontaje y retiro del AD original.

Para las sgtes. Unidades se prevé una modificación en la escotilla de acceso al TA por un diseño de dimensiones mayores y con esto se logra que los componentes del AD nuevo sean 12 en vez de los 24 iniciales.

Todo este proceso que inicialmente se previó de realizar en un año de trabajo fue reestudiado y con la práctica se está reduciendo a un periodo no mayor a siete meses por Unidad.

A este tiempo de reparación se le suman de 4 a seis semanas que son utilizados por Mantenimiento EBY para realizar los mantenimientos rutinarios que son necesarios.

A la fecha tenemos ya en servicio con AD nuevo y a potencia nominal las U03; U08, U10, U14, U15, U16 y U18.

Para mediados julio/2016 se prevé la puesta en marcha de las U20 y aprox. 30 dias después la U09. Estas habían parado en enero y febrero del 2.016



Fig. 9 Etapas del cambio de anillo

CONCLUSIÓN

Por todo lo relatado se ha puesto en evidencia el esfuerzo por dejar el parque generador de la CHY en las condiciones requeridas para generar al 100% de la capacidad nominal.

Desde la puesta en marcha de la U16 el 01/12/2.013 que fue la primera en ser reparada con el cambio total del AD a la fecha no se han tenido fallas referentes al AD. Si bien las mediciones de aceleración y presión no han variado, el material y procedimientos utilizados han respondido acorde a lo esperado.

Las mediciones de aceleración del antes y después de la reparación no pueden ser comparados de manera directa, esto se debe a que la estructura del TA ha sido modificada con la instalación de una escotilla de mayores dimensiones y que tiene por esto mayor masa, lo que incide manera directa en las mediciones.

Se está realizando por primera vez en máquinas de gran porte el cambio de un AD sin el desarme de la unidad completa.

La observación en el trascurso del tiempo dará más precisión sobre lo actuado.

BIBLIOGRAFIA

[1] Discharge Ring Anchoring and Overlay Detail Rev 0 – VOITH 2.011

[2] YYDR-PPE05-0100-00874202-DMA_Draft_Tube_Liner_Temporary_Fix – VOITH 2.011

[3] 2TKV06-0101-01051633 – VOITH 2.012

[4] YACYRETA HIDROGENERATING UNIT, OPERATION & MAINTENANCE MANUAL VOL 1. Voith and GE